

ИЗСЛЕДВАНЕ ВЛИЯНИЕТО НА ЪГЪЛА НА АТАКА ВЪРХУ БЕЗОПАСНОСТТА НА ДВИЖЕНИЕ НА ЖЕЛЕЗОПЪТНА ТАЛИГА

Добринка Атмаджова
atmadzhova@abv.bg

*Висше транспортна училище „Тодор Каблешков”, София
Ул. Гео Милев №158, Факултет „ТСТТ”, катедра „Транспортна техника”
БЪЛГАРИЯ*

***Ключови думи:** железопътни возила, талига, безопасност на движението на двuosна железопътна талига, ъгъл на атака.*

***Резюме:** В статията се изследва влиянието на ъгъла на атака върху параметрите определящи безопасността на движение на двuosна талига. Разглежда се движението на двuosна железопътна талига в прав и крив участък от пътя.*

1. Увод

Въпросите за безопасността на движение на подвижния железопътен състав винаги са били актуални. Способността на железопътния транспорт да обезпечава защита живота на пътниците, съхраняване на товара и опазване на околната среда като цяло, определя неговото развитие и достигане на водещи позиции на транспортния пазар. Според Закона за железопътния транспорт, в сила от 01.01.2002 г. “Безопасността в железопътния транспорт се осигурява чрез прилагане на правила за безопасност и общоприложими изисквания към участниците в железопътния транспорт, включително чрез правилата, приети от управителя на железопътната инфраструктура.” Произшествията в железопътния транспорт са обект на изследване, както на участващите в управлението и експлоатацията, а така също и на конструктори и проектанти. Особено място в произшествията на железопътния транспорт заема дерайлирането. Последиците от дерайлиране на железопътния подвижен състав поначало са непредвидими, но почти винаги се разпростират далече от мястото на причинителя и първата дерайлирала колоос; пораженията от нея не се ограничават само до прилежащото ѝ возило, а засягат обикновено група, а дори и всички следващи вагони от влака, заедно с превозваните товари, както и значителна дължина от железния път, при което особено големи опасности съществуват от дерайлиране в тунели, на мостове, при наличие на подпорни стени, виадукти и други съоръжения на железния път, както и по време на преминаване на насрещен влак по съседен коловоз. Вследствие на дерайлиране в населени места, особено при превоз на опасни товари, пораженията могат да бъдат изключително големи както за инфраструктурата, така и за населението, като включват и огромен брой човешки жертви.

При анализа на динамичното поведение на железопътните превозни средства най-важни са две групи проблеми: взаимодействието „колело-релса” при движение в прав участък от пътя и проблеми в крива. При движението на колоосите в права са

много интензивни трептенията и силите на взаимодействие в контактните точки, което има много негативно влияние върху комфорта, при определени скорости могат да доведат до нестабилност на движението, а също те са причина за износване в колелата и релсите. При движение в криви, силите на взаимодействие в контакта „колело-релса” и наличието на ъгъл на атака между колелата и релсите, могат да достигнат такива стойности, при които възниква много интензивно износване, поява на дефекти и разрушения по ходовата част на превозните средства и релсовия път и нарушаване сигурността на движение с появата на дерайлиране.

Посочените по-горе проблеми пораждаат необходимостта от изследване влиянието на ъгъла на атака върху параметрите определящи критерия за дерайлиране на двусна талига при движението ѝ в права и крив участък от пътя.

2. Механизми и критерии за безопасност от дерайлиране

Оценката на безопасността на движение на влаковете е тема от изключителна важност в железопътното инженерство. Поради това е важно да се гарантира, че критериите, използвани за оценка на безопасността на превозните средства е достатъчно реалистична за да се избегне появата на дерайлиране. Дерайлирането е движение на колоосите извън релсовия път вследствие изкачването на реборд върху глава релса. Причините за изкачването на ребордите на колелата върху релсите е трудно да бъдат установени. Въпреки това, дерайлирането може да доведе до разширение или разрушения по релсовия път и преобръщане на подвижния железопътен състав (Wu и Wilson, 2006)[1]. Всяка ситуация, която може да увеличи страничното натоварване (Y) и да намали вертикалното натоварване (Q) от колелата на релсите със сигурност ще увеличи риска от дерайлиране.

Механизмите за дерайлиране според техните причини, могат да се класифицират в следните категории: изкачване на реборд; изместване на релсовия път; разширяване на коловозния габарит и разтоварване на колелата. Всеки един от тези механизми на дерайлиране трябва да се контролира, като на етапа на проектиране се използват подходящи критерии за безопасност, а на етап „опитен образец” се извършат изпитвания за доказване на съответствие на обекта с утвърдени нормативни документи.

2.1 Изкачване на ребор

Дерайлиранията, причинени от изкачване на реборда върху глава релса са в резултат от наличието на недопустими странични и/или вертикални вибрации на релсовия път, което води до увеличаване на направляващите сили от релсовия път и намаляване на вертикалната сила в контакта „колело-релса”. Явления като земетресения или силни ветрове, съчетани с високи нива на неизправности по релсовия път може силно да допринасят за този тип дерайлиране.

Според Wu и Wilson (2006), механизмът на дерайлиране, причинен от изкачване на реборда над глава релса може да бъде илюстрирана в три фази. Във фаза 1, колелото се движи напречно по глава релса вследствие действието на напречна сила възникнала в колелото, което води до образуването на триеща сила по направление ос „y”, която се противопоставя на изкачването на колелото над глава релса. Във фаза 2, когато реборда докосва глава релса, силата на плъзгане обръща посоката си и започва да подпомага изкачването на реборда над глава релса. Във фаза 3, след достигане на максималния ъгъл на контакт (ъгъла на наклона на реборда), силата на плъзгане се противопоставя отново на движението – изкачване на реборда.

Един от най-често срещаните и използван критерий за оценка на дерайлирането причинени от изкачване на реборда е предложен от Nadal (1908) [2] в началото на 20-ти век – критерий ζ_N от таблица 1, по-известен като коефициент на дерайлиране.

Стойността на ζ_N варира, в зависимост от коефициента на триене μ и ъгъла на наклона на реборда γ . За гранична стойност е прието 0,8. Според TSI (2002 г.) [3], съотношението на Y/Q в колелата на влака не трябва да надвишава 0,8. Същата стойност е приета и за Япония (RTRI, 2006 г.) [4], докато в САЩ и Китай граничната стойност на съотношението Y/Q достига 1,0 (AAR, 2011 г.[5] и Jun и Qingyuan (2005) [6]).

Таблица 1 - Критерии за безопасност от дерайлиране.

Тип дерайлиране	Критерий	Критерий фактор	Физичен смисъл на границата	Гранична стойност	Автори (източник)
Изкачване на реборд	Nadal	$\zeta_N = \frac{Y}{Q}$	$\frac{\tan \gamma - \mu}{1 + \mu \tan \gamma}$	0.8	Nadal (1908) [2] TSI (2002) [3,7]
	Weinstock	$\zeta_W = \sum \frac{Y}{ws Q}$	$\frac{\tan \gamma_A - \mu_A}{1 + \mu_A \tan \gamma_A} + \mu_B$	1.5	Weinstock (1984) [8] AAR (2011) [5]
	Modified Nadal	$\zeta_N = \frac{Y}{Q}$ (0,015s)	$\frac{\tan \gamma - \mu}{1 + \mu \tan \gamma}$	0.8	Ishida и Matsuo (1999) [9]
Изместване на релсовия път	Prud'homme	$\zeta_P = \frac{\sum Y}{10 + \frac{2Q_0}{3}}$	$\frac{\sum Y}{10 + \frac{2Q_0}{3}}$	1.0	Prud'homme (1967) [10] TSI (2002) [3]
Разширяване на коловозния габарит вследствие завъртане на релса	Rail roll	$\zeta_R = \frac{\sum Y}{\text{bg side}} \cdot \frac{\text{bg side}}{\sum Q}$	$\frac{d}{h}$	0.6	AAR (2011) [5]
Разтоварване на колелата	Unloading	$\zeta_U = \frac{\Delta Q}{Q_0}$	$\frac{Q_0 - Q}{Q_0}$	0.9	EN 14067-6 (2010) [11]

Weinstock (1984) [8] предлага критерия ζ_W , представляващ сума на съотношението Y/Q , който взема под внимание не само ефекта на триене в контакта „колело-релса“ на атакуващото колело (коефициент на триене в атакуващо колело - μ_A), но и в неатакуващото колело (коефициент на триене в неатакуващо колело - μ_B) от една и съща колоос. Този критерий се използва най-вече в САЩ и в съответствие с глава XI на Наръчника за стандарти на AAR (AAR, 2011) [5], граничната стойност е 1,5.

Числени симулации, извършвани от Ishida и Matsuo (1999) на Shinkansen колоос при различни скорости, различни стойности на ъгъла на атака и амплитуди на странична сила, показват, че дерайлиране настъпва само когато съотношение Y/Q е над стойност – 1,0 за определен период от време. В действителност, дерайлирането на железопътно превозно средство поради изкачване на реборд над глава релса се наблюдава само когато колелото се повдига на над 30 mm спрямо глава релса, което съответства на височината на реборда (Nishimura и др., 2008 [12]). По този начин, Ishida и Matsuo (1999 г.) [9], предлагат модифициран критерий въз основа на продължителността на страничен удар. Ishida и Matsuo приемат за гранична стойност на коефициента - 0.8, като се счита, че превозното средство е в риск от дерайлиране, само когато тази гранична стойност е надвишена за повече от 0,015 s. Този модифициран критерий, отчитащ продължителността на страничен удар е приет от японските стандарти за оценка на безопасността на движението на високоскоростните влакове.

2.2 Изместване на релсовия път

Промяната на коловоза е страничното изместване на релсовия път, което включва релсите, траверсите и скрепителните елементи, над баластовата призма, вследствие на което едното колело попада между релсите, а другото извън коловоза. Това явление е причинено главно от повтарящи се натоварвания от сили приложени напречно на оста на релсите и ниска странична устойчивост на релсовия път.

Според Elkins и Carter (1993), Wu и Wilson (2006) [1,12], явлението „изместване на релсовия път” става все по-актуално с увеличаването на натоварването и скоростта на движение на влаковете. В действителност, увеличаването на скоростта обикновено води до увеличаване на небалансирани сили в криви или върху лошо подравнени коловози, което води до по-висок риск от дерайлиране. Освен това, по-широкото използване на непрекъснато заварена релса също допринася за увеличаване на вероятността за изместване на релсовия път, поради възникване на явлението „изкълчване”, причинено от температурните промени в релсите.

В резултат на изследване на Френската Национална железопътна компания (Sonneville и Bentot, 1955) [10] се установява се, че страничното натоварване, предизвикано от една-единствена колоос трябва да бъде ограничено за предотвратяване на прекомерно изместване на релсовия път. Prud'homme (1967) [10], посочва критерий ζ_R за ограничаване на общата напречната сила Y , упражнявана от колоос на пътя (таблица 1, където Q_0 е статичното натоварване на колело в kN). Критерият е приет в Европа от TCOC (2002 г.) [3,7,11].

2.3 Разширяване на коловозния габарит вследствие завъртане на релса

Дерайлирането вследствие разширяване на коловозния габарит от завъртане на релса, е в резултат на възникнали странични сили, упражнявани върху релсите и голями ъгли на атака при лошо управление на талигите при движение в криви. Тези въздействия водят до големи странични сили, упражнявани върху релсите, които могат да ги отклонят допълнително. Критерия ζ_R е отношението на височината от контактната точка „колело-релса” до основата на релсата (h) и хоризонталното разстояние между контактната точката до точката на въртене на релсата (d) (таблица 1).

За типичните железопътни участъци, използвани в САЩ, отношението h/d е около 0.6 (AAR, 2011) [5].

2.4 Разтоварване на колелата

Когато вибрациите на превозното средство са такива, че някои колела губят контакт с релсата, може да настъпи дерайлиране от разтоварване на колело. Тези вибрации, както в вертикалата, така и в хоризонтално-напречна посока, могат да бъдат причинени от различни източници на възбуждане, като например релсови нередности, земетресения, ветрове и други. Критерия ζ_U се определя като отношение между намаленото вертикално натоварване ΔQ към статичното натоварване Q_0 на колелото (таблица 1), където Q е динамичното вертикално натоварване на колелото. В Европа, EN 14067-6 (2010) [11] за съотношението $\Delta Q/Q_0$ е прието стойността 0,9. Стойностите 0.8 и 0.65 са приети за гранични, съответно в Япония и Китай (Jun и Qingyuan, 2005; RTRI, 2006) [4,6].

3. Модел за изследване влиянието на ъгъла на атака върху критерия на дерайлиране

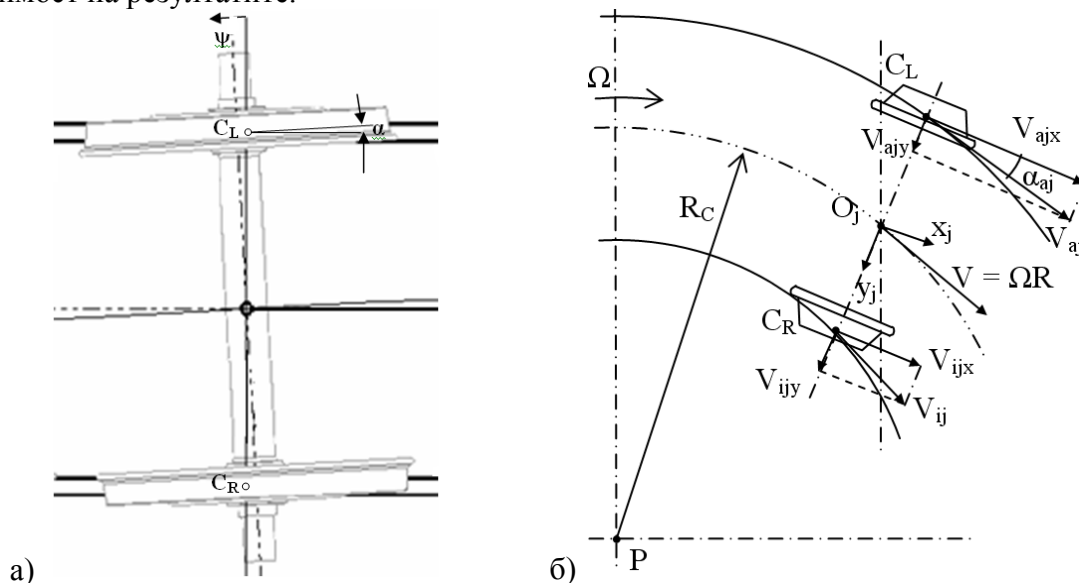
За изучаване поведението на подвижния състав при движението му по права и криволинеен участък се използват различни подходи изхождайки от конкретната ситуация. Разработени са модели основани на статичния и квазистатичния подход. Първият подход се прилага за изследване поведението на талиги с твърдо свързани с

рамата колооси при движението им в права и криви участъци с малък радиус [13], при което на тези участъци направляващата роля на релсите се постига с отчитане взаимодействието между реборда и главата на релсата.

През последните десетилетия са проведени разностранни и изключително задълбочени изследвания в тази област, както в квазистатичен така и в динамичен режим [14,15], при което съвсем естествено, вниманието е насочено изключително към колооста, представляващ безспорно първичния и основен за направляване на екипажа елемент, който се намира в условия на сложно взаимодействие с релсите и екипажа поради неконсервативните сили на крипа (респ. сухото триене) от една страна и от друга – усилията, предавани от коша на возилото и тези, формирани в самата талига и колоос. Характерно за повечето от цитираните източници е това, че аналитичните изследвания и решения се провеждат в два модела:

- предварителен модел – за определяне на местоположението на контактните точки и свързаните с тях параметри (радиуси, наклони, кривини и др.);
- основен модел – за определяне на всички останали величини за характеризирание на процеса от гледна точка разположение на елементите на системата и силово взаимодействие.

В някои от изследванията се достига до затваряне на цикъла с решаване на задачата за целия екипаж, но това фактически се извършва по пътя на итерацията, като основните фактори за направляващите функции, експлоатационните качества и безопасността – ъгълът на атака и хоризонталните премествания на буксите спрямо рамата – остава между величините на които се задават последователно различни стойности и решенията се повтарят докато се установи практически приемлива сходимост на резултатите.



Фиг.1 Схеми на движение в права и крив участък от пътя. (а – права; б – крива)

C_L, C_R – контактни точки между ляво („aj” колело) и дясно („ij” колело) колела с релса; R_C – радиус на кривата; V – скорост на движение на екипажа; Ω – ъглова скорост; ψ – ъгъл на завъртане на колоос; α – ъгъл на атака; V_{kix} и V_{kij} ($k = a, ar, i;$ и $j = 1,2$) - компонентите на преносната скорост V_{kj} в контактните точки, съответно по осите x_i и y_i от координатната система на колооста „j”

Carter F. [12] формулира хипотеза за характера на силите на триене при относително малки преплъзвания. Хипотезата на Carter F., респ. неговата работна формула, в продължение на няколко десетилетия е напълно господстваща и почти единствена; дори и сега е широко използвана въпреки наличието на някои доказателства за нейната неточност, поради основното ѝ достойнство, заключаващо се

в пределната ѝ простота и пригодността за практическо приложение в линейни модели. Много изследователи в стремежа си да постигнат по-висока точност създадоха различни теории, които по същество представляват модификации на хипотезата на Carter F. W.

От 70^{-те} години на 20^{-то} столетие главно в САЩ добиват широка известност и започват масово да се прилагат за определяне силите на взаимодействие „колело-релса“ различни теории: на Kalker J.J., Johnson K.L., Vermeulen P.J., Halling J., Haines, Ollerton, Frederich и др. Сред тях най-широка известност са получили хипотезите на Kalker J.J. [12,16].

4. Симулационен модел за изследване влиянието на ъгъла на атака върху критерия на дерайлиране на двuosна талига

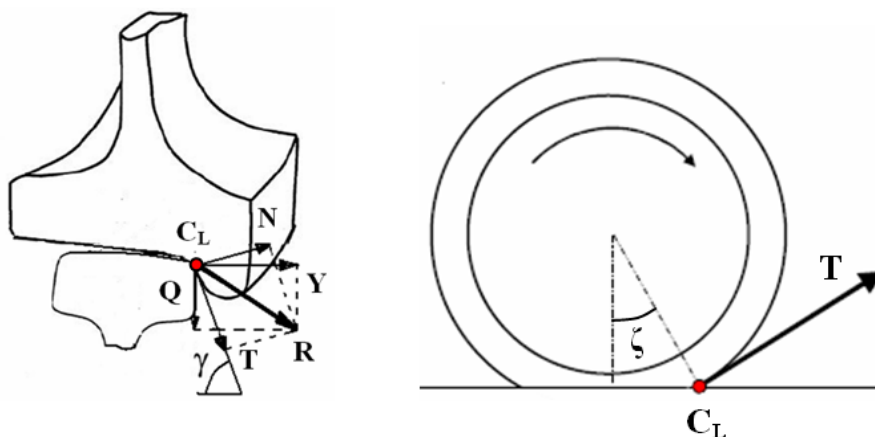
4.1. Основни премания.

Талигата, която се моделира е товарна талига тип Y25Ls за междурелсие 1435 mm с нови колооси с профили S1002, движеща се по права и крива с радиус 150 m и надвишение на външната релса – 150 mm, релси с наклон 1:40 и профил UIC60. Масата на една колоос е 1 500 kg, а диаметъра на колелата е 0,920 m. За определяне на тангенциалните сили на взаимодействие „колело-релса“ се приема нелинейната теория на Kalker [12,16],

Критерия, прилаган за оценка опасността, свързана с изкачване на реборда върху глава-релса и дерайлиране на колелото е зависимост получена въз основа на анализа на съотношението на силите в контактната точка „колело-релса“ - Y/Q , по следната зависимост:

$$(1) \quad \frac{Y}{Q} = \frac{-t_x \cdot \mu \cdot \sin \alpha \cdot \frac{\cos \zeta}{\cos \gamma} - t_y \cdot \mu \cdot (\cos \alpha - \sin \alpha \cdot \sin \zeta \cdot \operatorname{tg} \gamma) + \operatorname{tg} \gamma \cdot \cos \alpha + \sin \alpha \cdot \sin \zeta}{(1 + t_y \cdot \mu \cdot \operatorname{tg} \gamma) \cos \zeta + t_x \cdot \mu \cdot \frac{\sin \zeta}{\cos \gamma}}$$

където: μ - коефициент на криене; γ ъгъл на наклона на реборда; α – ъгъл на атака; ζ – ъгъл на контактната точка при изкачване реборда върху глава-релса (фиг.2); t_x и t_y , коефициенти определяни по отношенията на компонентите на тангенциалните сили, съответно по оси „x“ и „y“, и тангенциалните сили в контактната точка ($t_x = T_x/T$; $t_y = T_y/T$, като $\sqrt{t_x^2 + t_y^2} = 1$).



Фиг.2. Сили в контактна точка C_L .

Числените симулации се извършват при вариране на коефициента μ , ъглите α и ζ . Ъгълът на наклона на реборда – γ се приема с максималната си стойност за нов профил S1002 - 70°.

Разглеждат се два случая на контакт – взаимодействие „колело-релса“ :
 - без изкачване на реборда върху глава релса при $\zeta = 0^\circ$ ($\cos\zeta = 1$, $\sin\zeta = 0$) и
 - с изкачване на реборда върху глава релса при $\zeta \neq 0^\circ$.

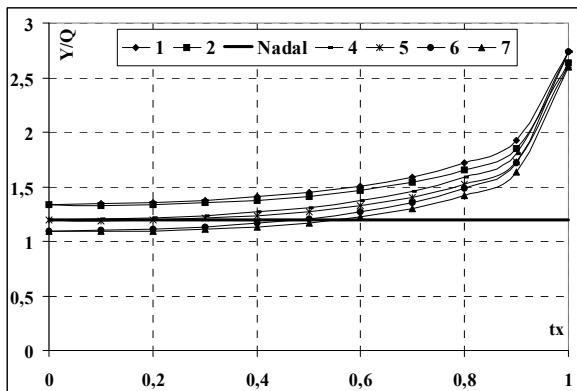
Приемат се варианти на вертикални натоварвания на колелата:

- 1 $Q_L = 130 \text{ kN}$ и $Q_R = 70 \text{ kN}$;
- 2 $Q_L = 100 \text{ kN}$ и $Q_R = 100 \text{ kN}$ и
- 3 $Q_L = 70 \text{ kN}$ и $Q_R = 130 \text{ kN}$.

Изчисленията се провеждат при различни скорости: 15 m/s и 5 m/s . Във всеки случай се анализират критичните стойности на коефициентите на дерайлиране и контактни сили в критичната фаза.

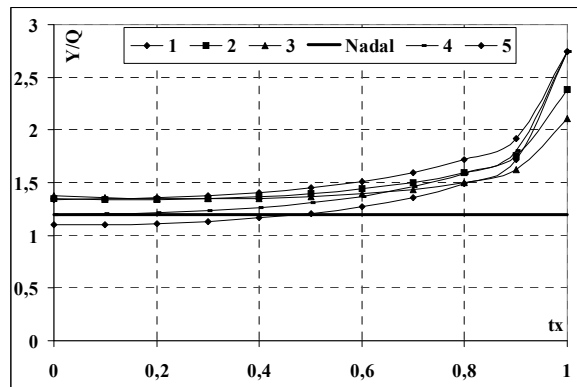
4.2 Числени резултати от симулационния модел

На фигури 3 и 4 са показани графиките на изчислените критични стойности на $|Y/Q|$ във функция на t_x , с и без изкачване на реборда върху глава-релса.



1 – $\alpha = 0^\circ$; $\mu = 0,3$; 2 – $\alpha = 6^\circ = 0,104667\text{rad}$; $\mu = 0,3$
 4 – $\alpha = 0^\circ$; $\mu = 0,36$; 5 – $\alpha = 6^\circ = 0,10467\text{rad}$; $\mu = 0,36$; 6 – $\alpha = 0^\circ$; $\mu = 0,41$; 7 – $\alpha = 6^\circ = 0,10467\text{rad}$; $\mu = 0,41$

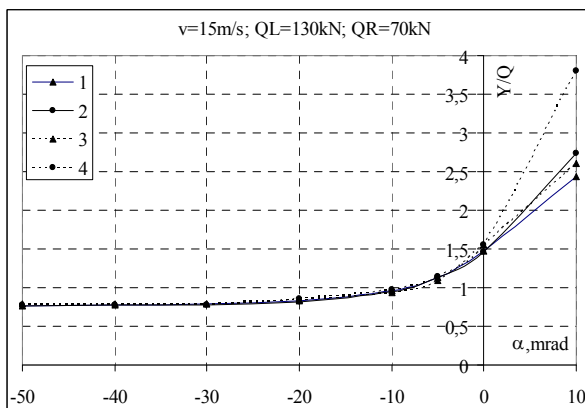
Фиг.3. Критични стойности на $|Y/Q|$ във функция на t_x , без изкачване на реборда върху глава-релса.



1 – $\zeta = 0^\circ$; $\mu = 0,3$; 2 – $\zeta = 10^\circ = 0,1744\text{rad}$; $\mu = 0,3$;
 3 – $\zeta = 20^\circ = 0,3489\text{rad}$; $\mu = 0,3$; 4 – $\zeta = 0^\circ$; $\mu = 0,36$;
 5 – $\zeta = 0^\circ$; $\mu = 0,41$ и $\alpha = 0^\circ$.

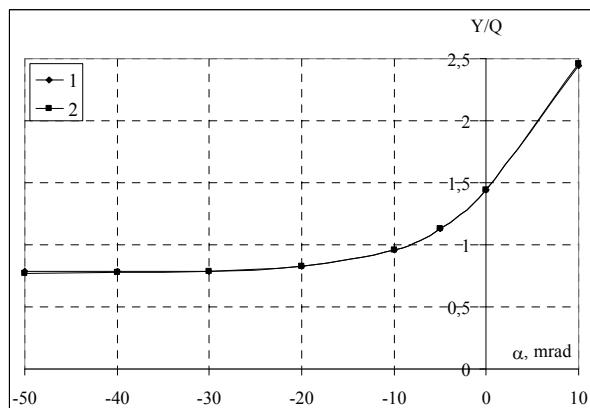
Фиг.4. Критични стойности на $|Y/Q|$ във функция на t_x , с изкачване на реборда върху глава-релса.

От графиките на фиг.3 и 4, се забелязва, че критичните стойности нарастват при стойности на t_x над 0,4 и значително над 0,5. Критичните стойности на коефициента на дерайлиране са над стойността 1,2 определена по нормативните документи при $t_x = 0,5$.



1 и 3 – права; 2 и 4 – крива с $R = 150 \text{ m}$

Фиг.5. Критични стойности на $|Y/Q|$ във функция от ъгъла на атака при $Q_L = 130\text{kN}$; $Q_R = 70 \text{ kN}$; $v = 15\text{m/s}$, $\gamma = 70^\circ = 1,2211 \text{ rad}$ и $\mu = 0,3$.



1- $Q_L = 130\text{kN}$; $Q_R = 70 \text{ kN}$ и 2 - $Q_L = 70\text{kN}$; $Q_R = 130 \text{ kN}$

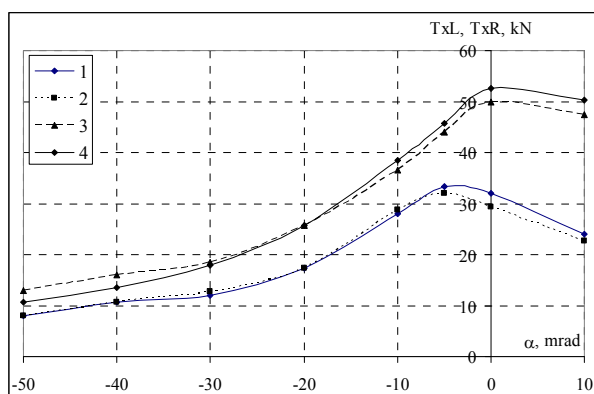
Фиг.6. Критични стойности на $|Y/Q|$ във функция от ъгъла на атака при $v = 15\text{m/s}$, $\gamma = 70^\circ = 1,2211 \text{ rad}$ и $\mu = 0,3$, в права.

На фигури 5 и 6 са показани графиките на изчислените критични стойности на

$|Y/Q|$ във функция от ъгъла на атака при различни вертикални натоварвания на колелата от една колоос, при ъгъл на реборда $\gamma = 70^\circ = 1,2211 \text{ rad}$, коефициент на триене $\mu = 0,3$ и движение в права и крива.

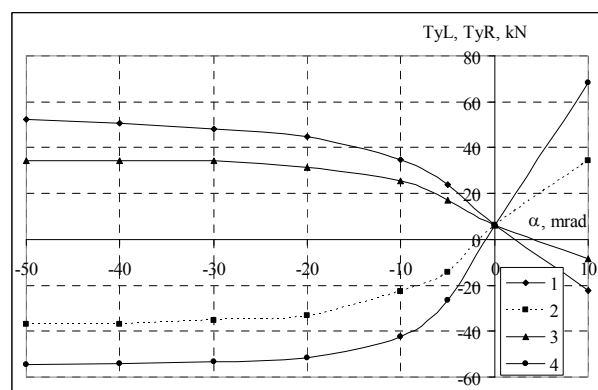
От фиг.5 се установява, че значителни разлики между стойностите на $|Y/Q|$ за движение по права и крива се появява само за положителните стойности на ъгъла на атака. При отрицателна стойност на ъгъла на атака се установява, че стойностите на $|Y/Q|$ се различават много малко за права и крива и най-големите разлики са не по-големи от 4%, което разрешава да се мисли, че получените стойности при движение по прав коловоз са сравними с резултатите при кривата. От фиг.6 се установява, че критичните стойности на $|Y/Q|$ за движение по права независят от разликата във вертикалното натоварване на двете колела от една колоос.

На фигури 7 и 8 са показани изчислените критични стойности на тангенциални сили, съответно по ос „x” и „y”, във функция от ъгъла на атака, при $Q_L = 130 \text{ kN}$; $Q_R = 70 \text{ kN}$; $v = 15 \text{ m/s}$, $\gamma = 70^\circ = 1,2211 \text{ rad}$ и $\mu = 0,3$.



1 - (T_{xL}) и 2 - (T_{xR}) права; 3 - (T_{yL}) и 4 (T_{yR}) - крива с $R = 150 \text{ m}$

Фиг.7. Критични стойности на тангенциални сили по ос „x” във функция от ъгъла на атака при $Q_L = 130 \text{ kN}$; $Q_R = 70 \text{ kN}$; $v = 15 \text{ m/s}$, $\gamma = 70^\circ = 1,2211 \text{ rad}$ и $\mu = 0,3$.



1 (T_{yL}) и 2 (T_{yR}) – права; 3 (T_{yL}) и 4 (T_{yR}) - крива с $R = 150 \text{ m}$

Фиг.8. Критични стойности на тангенциални сили по ос „y” във функция от ъгъла на атака при $Q_L = 130 \text{ kN}$; $Q_R = 70 \text{ kN}$; $v = 15 \text{ m/s}$, $\gamma = 70^\circ = 1,2211 \text{ rad}$ и $\mu = 0,3$.

Стойностите на надлъжните тангенциални сили в контакта „колело-релса” са сравними за лявото и дясното колело при движение в права и крива. При положителен ъгъл на атака тези сили са двойно по-големи при движение в крива. Може да се отбележи, че повишаването на стойността на ъгъла на атака причинява намаляване на стойностите на надлъжните тангенциални сили на двете колела. Горизонтално-напречните тангенциални сили за лявото колело намаляват, докато за дясното – нарастват, като при нулев ъгъл на атака, тези сили се изравняват при стойност 6,4 kN. В резултат може да се посочи, че при наличието на високи T_{yR} и ниски сили T_{yL} може да възникне изкачване на реборда върху глава-релса и от там - дерайлиране за критични стойности на $|Y/Q|$ много по-големи от тези, предсказани по критерия на Nadal.

5. Заключение

В статията са разгледани механизмите за дерайлиране според техните причини.

Направена е класификация в следните категории: изкачване на реборд; изместване на релсовия път; разширяване на коловозния габарит вследствие завъртане на релса и разтоварване на колелата. Посочени са основните зависимости, приложения и гранични стойности на критериите за оценка на дерайлирането.

Разработен е симулационен модел за изследване критичните стойности на $|Y/Q|$ във функция от ъгъла на атака α при различни стойности на натоварване, скорост,

коэффициент на триене μ „колело-релса”, ъгъл на контактната точка ζ при изкачване на реборда върху глава-релса и др., при движение в права и крива.

Числените симулации се извършват при вариране на коефициента μ , ъглите α и ζ . Ъгълът на наклона на реборда – γ се приема с максималната си стойност за нов профил S1002 - 70°.

Разглеждат се два случая на контакта – взаимодействие „колело-релса” :

- без изкачване на реборда върху глава релса при $\zeta = 0^\circ$ ($\cos\zeta = 1$, $\sin\zeta = 0$) и

- с изкачване на реборда върху глава релса при $\zeta \neq 0^\circ$.

Направени са анализи на влиянието на различните параметри върху критичните стойности на коефициента на дерайлиране $|Y/Q|$. Особено внимание е отделено на влиянието върху този коефициент на различни стойности на ъгъла на атака.

ЛИТЕРАТУРА

1. Wu, H., Wilson, N. Railway Vehicle Derailment and Prevention, In S. Iwnicki (Ed), Handbook of Railway Vehicle Dynamics (pp. 209-238), CRC Press - Taylor & Francis Group, Boca Raton, FL, USA, 2006.
2. Nadal, J. Locomotives a vapeur, Collection Encyclopédie Scientifique, Bibliothèque de Mécanique Appliquée et Génie, Vol.186, Doin Éditeurs, Paris, France, 1908.
3. TSI. Technical specification for interoperability relating to the infrastructure subsystem of the trans-European high-speed rail system, Official Journal of the European Union, Brussels, 2002.
4. RTRI. Outline of design standards for railway structures and commentary (displacement limits), Railway Technical Research Institute (Ed.), Maruzen Co., Ltd., Tokyo, 2006.
5. AAR. M1001: Manual of standards and recommended practices: Section C, Part II - Design, Fabrication, and Construction of Freight Cars, Association of American Railroads, Washington, DC, USA, 2011.
6. Jun, X., Qingyuan, Z. A study on mechanical mechanism of train derailment and preventive measures for derailment, Vehicle System Dynamics, 2005, 43 (2), pp. 121-147. DOI:10.1080/0042311041233132201.
7. EN 14363: 2005.: Railway applications - testing for the acceptance of running characteristics of railway vehicles - Testing of running behaviour and stationary tests. ISBN 83-243-8546-0.
8. Weinstock, H. Wheel climb derailment criteria for evaluation of rail vehicle safety, In (Ed), Proceedings of ASME Winter Annual Meeting, 84-WA/RT-1, New Orleans, LA, USA, 1984.
9. Ishida, H., Matsuo, M. Safety criteria for evaluation of railway vehicle derailment, Quarterly Report of Railway Technical Research Institute, 1999, 40 (1), pp. 18-25. DOI:10.2219/rtriqr.40.18.
10. Prud'homme
11. EN 14067-6. Railway applications - Aerodynamics - Part 6: Requirements and test procedures for cross wind assessment, European Committee for Standardization (CEN), Brussels, 2010.
12. Garg, V.K., Dukkipati, R.V. Dynamics of railway vehicle systems, Academic Press Inc., Orlando, FL, USA, 1984.
13. D-RAIL, Deliverable D1.1, Summary report and database of derailments incidents, 2012.
14. Atmadzhova D. Wheel-rail contact wear, work and lateral force. International Railway Symposium 2006 Ankara and Istanbul, TURKEY, 13-15 December 2006
15. Atmadzhova D., An Electronic System for Measuring the Attack Angle of Railway Wheelsets at a Running in Curves. ISSE 2010 WARSAW May 12 – 16 2010 Poland

16. Kalker, J.J. Wheel-rail rolling contact theory, *Wear*, 1991, 144 (1-2), pp. 243-261.
DOI:10.1016/0043-1648(91)90018-P.

RESEARCH THE INFLUENCE OF ANGLE OF ATTACK ON SAFETY OF MOVEMENT OF RAILWAY BOGIE

Dobrinka Atmadzhova
atmadzhova@abv.bg

*Todor Kableshkov University of Transport,
1574 Sofia, 158 'Geo Milev' Street,
BULGARIA*

Key words: *rail vehicles, bogie movement safety biaxial railway bogie, angle of attack.*

Abstract: *The paper research the influence of angle of attack on the parameters determining the safety of movement of the axle bogies. Is proposed that model for movement biaxial railway bogie on straight and curved section of rail track.*